



海洋测量 定位与计算

彭光宇 赵明才 编著

测绘出版社

381

5

4

26.391
576
12

DG50/35 12

海洋测量定位与计算

彭光宇 赵明才 编著

测绘出版社

1014868

(京)新登字 065 号

内 容 简 介

本书着重介绍海洋测量的定位方法和计算工作。内容上既有地面的定位方法,又有海底的定位方法,更有天上的定位方法;既有古典的方法,也有目前国际上最先进的方法;有局部的,也有全球的。全书有理论,又有实例,由浅入深,内容充实,概念明确,是从事海洋测量的科技人员的较好参考书。

海洋测量定位与计算

彭光宇 赵明才 编著

*

测绘出版社出版·发行

北京大兴星海印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本 787×1092 1/16·印张 18·插页 2·字数 403 千字

1993 年 1 月第 1 版·1993 年 1 月第一次印刷

印数 0 001—1 000 册·定价 16.00 元

ISBN 7-5030-0553-X/P·212

序

应天津海洋测绘研究所与该所原总工程师彭光宇高级工程师和赵明才高级工程师之约，为《海洋测量定位与计算》作序，使我有机会阅读了全书内容。虽我已年逾古稀，水平有限，但由于赞赏本书为我国海洋测量事业作了有益的贡献，因此愿为该书写点读后感，并向读者作个粗浅介绍。

新中国成立之后，我国沿海才开始系统地有了自己普测的海图。1957~1958年唯一从苏联进口的一套无线电坐标仪赖以解决近海测量定位之用。随着时代的进步，无线电定位系统不断发展，在精度及作用距离上都大有提高，而且仪器的形体上亦趋向轻巧精密。为了解决测定距岸较远的海域及水中或海底目标的定位问题，就有水声系统问世。自从人类成功地发射了人造地球卫星，因此又发展到利用卫星系统为海上定位提供了前所未有的有利条件。随着电子技术的不断发展，除了上面提到的无线电和水声技术外，尤为引人注目的计算机技术在各个领域的应用，更推动了海洋测量中许多新方法新原理的出现，例如组合方式的卫星定位系统和测深自动化系统等。如果现在没有高水平精密仪器的问世，没有正确的测量原理和方法相配合，要想实现当前海洋测量的实效，那是难以想像的，所以仪器与测量原理和方法之间是相辅相成的。

海洋测量包括海洋大地测量、海道测量、海底地形测量、海洋各种工程测量及海洋调查测量等。由于海洋环境瞬息万变，情况特殊，上述各种海洋测量必须以定位为基础。倘若已完善了定位工作，则对整个测量工作的质量而言，必可达到日臻完善的地步。本书以海上定位及计算作为主题是很有针对性的。

全书共分十一章，第一章绪论，对海洋测量作了扼要而全面的介绍。第二、三两章介绍了沿岸控制测量的方法，内容比较简单，但它又是基础，作为整体的一部分，有必要作简要叙述。第四章讨论了无线电传播特性与对定位的影响，它是为第五章无线电定位系统的定位与计算及第六章无线电定位系统（仪器）简介作为辅助知识而介绍的。第五章主要介绍无线电测距和测距差定位等的各种计算公式和算例。第六章讨论了无线电定位系统组成原理和技术指标，且介绍了多种常用的无线电定位系统的特性。第七章讨论了水声定位的工作原理及计算公式，并讨论了水下控制网的布设和联测方法，第八章除介绍子午仪卫星导航系统定位与计算外，主要介绍了GPS全球定位系统的定位与计算。第九章介绍了作者设想的海上天文摄影定位系统工作原理和对该系统今后的发展。第十章讨论海上单点定位和测线平差计算，应用卡尔曼滤波技术进行实时最佳的海上动态定位及计算方法。第十一章主要介绍我国自行研制的水深测量自动化系统，计有1986年天津海洋测绘研究所研制的近海水深测量自动化系统，1987年大连舰艇学院研制的HYS-101型沿岸水深测量自动化系统，以及1989年天津海洋测绘研究所研制的多功能测深自动化系统。对它们的设计思想、工作原理及仪器结构、性能等都作了详细介绍。现在这些仪器都已被国内有关

部门应用。另外在附录中罗列了大地问题的贝塞尔法正、反解法和维洛维茨的正、反解法，同一坐标系坐标互换计算，不同坐标系之间的转换计算，高斯投影坐标与墨卡托投影坐标之间的换算，最后列出了世界各种参考椭球参数。

综观全书，章节比较连贯，内容较为充实，主题较突出，而且多能做到言简意赅，所以本书很适合于基层作业人员指导业务和学习参考。对于从事海洋测量及海洋研究的科技人员及有关高等院校师生亦均有一定的参考价值。

在坚持改革开放，促使我们祖国走向更现代化的今天，这本书的出版，一定能够在我国海洋测量事业中贡献出一份力量。

谨以此读后感作为代序吧！

郁 祚 瀛

1991年7月上旬于天津小海地

目 录

第一章 结 论	(1)
第一节 海洋测量的现状与展望.....	(1)
第二节 海洋测量定位的精度要求.....	(4)
第三节 海洋测量定位的坐标系统.....	(5)
第二章 海岸和岛屿控制测量	(10)
第一节 海控点典型图形设计和精度概算.....	(10)
第二节 海控点典型图形严密平差的基本公式.....	(14)
第三节 海控点高程测量.....	(19)
第三章 光学仪器测角定位与计算	(24)
第一节 前方交会法.....	(24)
第二节 后方交会法.....	(27)
第三节 侧方交会法.....	(31)
第四节 计算举例	(33)
第四章 无线电波的传播特性和对定位的影响	(36)
第一节 无线电波的传播特性.....	(36)
第二节 无线电波传播特性对定位的影响.....	(37)
第五章 无线电定位系统的定位与计算	(41)
第一节 概述.....	(41)
第二节 测距(圆-圆)定位与计算.....	(42)
第三节 测距差(双曲线)定位与计算.....	(68)
第四节 椭圆定位和椭圆双曲线定位的计算.....	(99)
第六章 无线电定位系统(仪器)简介	(106)
第一节 无线电定位系统的主要技术指标.....	(106)
第二节 海用微波测距仪.....	(107)
第三节 塞里迪斯定位系统.....	(111)
第四节 三应答定位系统.....	(115)
第五节 马西兰定位系统.....	(116)
第六节 哈菲克斯-6定位系统.....	(117)
第七节 阿戈定位系统.....	(119)
第八节 罗兰-C导航定位系统.....	(121)
第九节 脉冲-8导航定位系统.....	(126)
第七章 水声定位系统的定位与计算	(128)

第一节	水声传播距离	(128)
第二节	水声定位系统工作原理	(134)
第三节	海底控制网的布设和联测计算	(145)
第八章	卫星导航系统定位与计算	(158)
第一节	子午卫星导航系统定位与计算	(158)
第二节	GPS 卫星导航系统定位与计算	(168)
第九章	海上天文摄影定位系统的设想与展望	(192)
第一节	基本原理和公式	(192)
第二节	天顶摄影仪设计要求	(195)
第三节	利用 CCD 量测和辨别恒星原理	(196)
第四节	平台保障要求	(196)
第十章	海上单点定位和测线平差计算	(198)
第一节	海上单点定位的平差计算	(198)
第二节	应用卡尔曼滤波实时海上动态定位计算	(203)
第三节	海上测线拟合计算方法	(212)
第四节	海洋重力测量网整体平差	(220)
第十一章	水深测量自动化系统	(246)
第一节	沿岸水深测量自动化系统	(246)
第二节	近海水深测量自动化系统	(248)
第三节	多功能水深测量自动化系统	(255)
附录		(257)
A.	大地问题解算	(257)
B.	同一椭球上不同坐标系的转换	(262)
C.	不同椭球之间的坐标变换	(268)
D.	高斯与墨卡托投影之间的变换	(271)
E.	世界各种参考椭球的参数	(273)

第一章 绪 论

第一节 海洋测量的现状与展望

海洋测量所包含的内容很广，主要包括：海洋大地测量、海道测量、海底地形测量、海洋重力测量、海洋磁力测量、海洋各种工程测量和海洋调查测量等。海洋测量是一门综合性很强的学科，它的发展与相关学科的发展有着密切的联系。

近几十年来，随着世界各海洋国家对海洋开发与利用的科学技术的不断发展，使海洋测量也相应得到迅速发展，主要体现在以下几个方面：

一、计算机技术

我国在 20 世纪 70 年代以前，海洋测量工作基本处于手工作业状态，劳动强度大，效率低，测量精度不高。进入 80 年代后，海洋测量才逐步向半自动化和自动化方向发展，电子计算机技术在海洋测量工作中才得到逐步应用和推广。到目前为止，我国的海洋测量工作仍有一些作业单位处于手工作业状态。有些单位之所以有条件较早实现自动化，一般都是以引进国外先进成套设备为前提的。直到 80 年代末我国才出现自行研制的水深测量自动化系统。随着计算机技术的不断发展，特别是智能型、特大规模集成电路的出现，给海洋测量工作带来很大的促进与发展。海洋测量的最大特点是采集和处理的数据量较大、实时性强，尤其是对全面覆盖某一海区海底的高精度测量，如采用多波束测深系统、机载遥感测深系统或干涉侧扫声呐等，这些系统在瞬间要采集大量数据，因此要求计算机内存容量要大，处理速度要高，智能性要强(实时现场判断所采集数据的真伪或进行滤波处理)。今后海洋测量将更进一步要求具有实时和快速反应的能力，以保证测量成果的现势性，这不仅对军事上具有重要意义，就是对经济建设不断更新信息也是非常重要的。

二、遥感技术

20 世纪 70 年代以来，遥感技术得到了较快的发展，遥感技术应用得到发展的主要标志是：从一种遥感数据的目视解释分析，发展到多种遥感信息源数据的计算机分类处理和复合处理；从对自然资源的环境静态分析与定性分析，发展到动态监测、定量观测分析和预测；从描述各种事物和过程的表面现象，发展到借助遥感图像分析事物内在的规律性。在今后，遥感技术将会取得更进一步发展，尤其是海洋遥感方面，如海洋卫星与资源卫星的相继发射，以及各种类型的海洋遥感传感器的研制将会取得重大进展。据认为，激光雷达(Lidar)将是一种很有发展前景的传感器，可用于探测水深、海水混浊度、海面地形、水面油膜厚度、水的污染及水下温度等。在航天遥感方面，美国在 20 世纪 60 年代末

就开始研制陆地资源卫星(Landsat)。从1972~1984年已先后发射了Landsat1~5号卫星,传感器也有较大改进,地面分辨率由MSS图像的80m提高到TM图像的30m,在以后发射的Landsat6~7号卫星上安装的ETM传感器,其地面分辨率达到15m和10m。美国的地球观测系统计划(Earth Observation System,简称EOS),将包括多次探测全球性变化的任务,气象卫星、海洋卫星、测地卫星和地球物理卫星等均属该系统的组成部分。美国在海洋遥感方面,于1975年发射了Geos-3卫星,1978年发射了Seasat和Minibus-7号卫星。80年代末发射了载有高精度测高仪的Geosat卫星。测高仪对海洋大地测量来说,为获得海洋大地水准面资料提供了快速可靠的手段。法国航天遥感也取得了令人瞩目的进展,其中Spot卫星系统的Spot-1已于1986年2月22日发射,Spot-2已于1990年1月22日发射,共分辨率达到10m~5m。Spot卫星图像适合于多层次的制图和资源调查。目前法国正在研制两种星载仪器,一种是Poseidon测高仪,用于海面成像,以研究海洋大地水准面、海面地形、海洋环流、天气预报和冰川、地球物理、地球动力学和海洋气候学;另一种是Doris精确定位系统。这两种仪器由美国发射的Topex海洋卫星运载,称为Topex/Poseidon卫星。

我国在航天遥感方面,主要是采用摄影系统和胶片回收技术,并已取得了大量资料。发展多光谱和全色遥感将是我国下一步的努力目标。

对于具有足够精度的海洋测量来说,以发展机载遥感较为有利。美国、加拿大、澳大利亚等国进展较快。美国于1978年就开始了近海浅水区遥感测深系统的研究,这个系统包括一个激光测深仪(Laser Sounder)、一个多光谱扫描仪(Multispectral Scanner)和一个电磁剖面仪(Electromagnetic Profiler)。这个系统可以在各种环境下从飞机上快速测量沿岸水深图,其中激光测深仪和多光谱扫描仪都安装在飞机下面,以条带方式采集数据,航高500m,激光测深仪的条带宽约270m,而多光谱扫描仪的条带宽可达700m。由于这两种仪器都是光学传感器,因此测深能力受到海水透明度的限制,同时还受到阳光、海况及其它环境因素的影响,因此配上电磁剖面仪(又称磁测深仪),由于电磁剖面仪不受上述那些条件的影响,可以对含泥沙量大的混浊海水及为冰层所覆盖的海区进行测深。同时夜间也可以测量。机载遥感测深,目前一般最大深度可达50m,海水透明度好时也可达到100m。

三、水声技术

应用水声技术可以解决海洋测量中如下许多问题:测量深度,观测海面波浪和海流。探测水下地貌(地形),海底底质和浅层地质结构,以及用于导航定位和水下通讯等。

回声测深技术从20世纪20年代开始得到应用,当前包括单、多波束测深仪、侧扫声呐和条带测深系统,已广泛应用于水深测量,并正处于进一步完善和提高测量精度的过程。目前又出现一种声像声呐系统,它是侧扫声呐与多波束测深系统相结合的产品。垂直探测可当作多波束系统使用;倾斜观测可当作侧扫声呐使用,它不但可以放在船上或拖带进行探测,也可以安装在机器人上工作。现在已有两种声像声呐系统,一种是加拿大的Model 1971型,它显示图像128个灰阶;另一种是英国的AS360 MS1声呐和851型彩色声像

声呐。这些仪器设备特别适用于航道测量与疏浚、码头水下地形测量、铺设海底管线等。我国在测深设备方面，除单波束测深仪外，双频测深仪、智能型测深仪和多波束测深系统、侧扫声呐都已步入当前国际较先进水平。测深设备的进一步发展，将是体积小、智能型和精度更高、功能较为齐全的系统。

对底质与浅层地质结构的探测，已出现了一些高技术产品，我国研制成功的浅层剖面仪，在技术上有很大突破，如采用时变滤波技术、抵消基阵解振技术都是我国的独创。我国研制的剖面仪，如 GPY 型浅层剖面仪，对平均水深只有 1.9m、最大水深为 2.5m 的太湖测区，取得了穿透 40m 深度的沉积层地层结构的记录，而且可以分辨出数十厘米厚的地层结构。又如国产的 DDCI 深层剖面仪，在太平洋的试验中，在水深为 6700m 处可穿透地层达 500m。到了 21 世纪，一种可适用于任何海区的地层剖面仪将会问世，这对海洋测量、海洋物探及科学研究将会起到极重要的作用。

利用水下声标在海底建立大地测量控制网或直接为船舶导航，是当前海洋测量的一个重要课题。以水下声标作为海底控制点，也和陆地大地测量一样，是精确测定海底地形和进行海洋工程建设所必须的控制基础，同时也是监测海底地壳动态变化的依据，20 世纪 80 年代以来，应用水声技术对海底火山、地震和海啸的监测，取得了很大进展。水下声标（应答器）能接收与发射声信号。国外先进的声标寿命可达 10 年以上，作用距离几十公里，但我国尚处于初步发展阶段中。水下声标是海洋测量用于建立海底控制网和进行导航定位的重要手段，尤其是对海洋划界测量、局部海区海底地形测量、海洋工程测量和海啸预报具有非常重要的意义，也是今后开展近、远海测量的重要手段。

四、无线电和卫星定位技术

无线电和卫星定位系统，目前以致将来仍然是海洋测量中定位的主要手段。无线电定位技术主要是发展中、近程高精度定位系统，由于卫星定位的发展，远程无线电定位系统除了维持现存的罗兰-C 和奥米伽两种系统外，一般不会再有大的发展，而且上述两种系统将会逐步停止使用。为提高无线电定位系统和卫星定位系统的精度，通常使用差分技术，如奥米伽导航系统有差奥米伽或微奥米伽，以及差分罗兰-C 和差分 GPS 等。使用差分技术，可对局部海区的测量提高其定位精度。对于罗兰-C 则发展成既可进行双曲线方式定位，也可用圆方式或椭圆方式定位。中、近程无线电定位系统，过去都是以双曲线方式定位。但这种方式难以满足海上工程测量等高精度定位的需要，因此从 70 年代末到现在，都在大力发展测距定位系统，因时控技术现在已不是十分复杂的问题。测距方式定位的精度（不考虑几何因素）由双曲线方式的几十米提高到几米，如美国的阿戈 (ARGO) 定位系统。近程定位系统，大多以微波测距方式定位，如美国的猎鹰 IV (484) (Falcon IV (484))、三应答器 (Trisponder) 和法国的塞里迪斯 (Syledis) 等。我国仿制的罗兰-C 和脉冲-8 导航系统正处于试用阶段。近导-4 定位系统原为双曲线方式定位，现正着手从增大作用距离和增加测距方式定位等方面进行改进。

卫星定位方面，现在的热点是导航星全球定位系统 (GPS)，世界各国研制的 GPS 接收机已有数十种之多，目前仍在如何提高定位精度、减轻重量和缩小体积等方面不断更新

产品。GPS是今后海、陆、空导航定位和大地测量的一种最佳定位系统，它具有全球覆盖、连续定位、全天候和精度高的特点。苏联在1980年左右也开始研制类似的定位系统（GLonass）。另外还有一些正在发展的卫星定位系统，如美国的Geostar，又称通讯卫星或双星定位系统。

海上定位，为满足各种测量定位的精度要求，一般都以形成组合方式的定位系统为其发展方向，因为使用单一传感器，无论在定位精度、可靠性、连续性和实时性等方面都远没有组合方式那样优越。组合方式是将各种定位传感器，如无线电定位接收机、卫星接收机等和采用惯性导航或多普勒声呐、罗经等进行推算导航有机地结合在一起，以计算机作为中心处理设备，对各种定位信息进行卡尔曼滤波处理，从而获得船舶的最佳位置。

海洋测量定位是基础。无论是测量地球上的某一几何量或物理量，都必须把这些量固定在某一种坐标系统相应的格网中，否则是毫无意义的。因此定位对各种测量来说（包括陆地和海洋）是具有普遍实用意义的。本书以定位作为主题，且在内容上多以讨论海上动态条件下的二维定位为主，并详细介绍了各种情况下，定位要解决的难题和计算问题。而以海洋测量作为绪论的开篇，是因为海上定位只是海洋测量的一个重要分支，如果仅仅论述海上定位的现状与展望，则容易使读者误认为“海上定位”已形成一门学科。

第二节 海洋测量定位的精度要求

实施海洋测量，根据测量任务和目的之不同，对定位精度的要求也各有不同。这里所述的定位精度系指定位系统本身的测量中误差和几何精度而言。在海洋测量中，因处于海上工作，大多数情况下，只观测两个参数来确定点位，故所确定的二维位置的点位中误差的普遍公式为：

$$M = \pm \csc \omega \sqrt{m_1^2 + m_2^2} \quad (1-1)$$

或

$$M = \pm \csc \omega \sqrt{\left(\frac{m_{*1}}{g_1}\right)^2 + \left(\frac{m_{*2}}{g_2}\right)^2} \quad (1-2)$$

式中 M ——定位点的点位中误差；

ω ——位置线1，2的交角；

m_1, m_2 ——位置线1，2的法向位移中误差；

m_{*1}, m_{*2} ——观测值中误差；

g_1, g_2 ——观测值中误差梯度的模。

当观测两个以上参数确定点的位置时，则有多余观测，可通过平差方法确定其点位中误差。

海上定位，对于海道测量来说，点位中误差 M 值一般不超过图上1.5mm。其他海洋测量定位精度可参考表1.1。

海洋测量定位的精度要求

表 1.1

测 量 任 务	平面位置精度		高 程 精 度	
	绝对的	相对的	绝对的	相对的
海洋大地测量控制点	1~10	1	1~5	1
海洋重力基点	10	10	—	1
海面地形	—	—	0.5	0.1
平均海面	—	—	—	0.1
校正无线电定位系统的控制点	10	1	—	—
声学航标	10	10	—	—
普查性海道测量和地球物理勘探测量	100~500	100~500	—	—
海底地形测量和海洋工程测量	50~100	15~75	—	—
海上的标准台站	10	1	5	0.3
钻 井	1	1.5	—	1~5
敷 设 管 线	10	1~10	—	—
海上划界测量	10	1~2	—	—
打 捞 救 生	20~100	10~20	—	—
导 航	3000	45~500	—	—

注：表中海洋测量定位的精度要求，系参考国内、外有关资料列表编写的，对于我国，有些任务我们才开始，因此需要结合我国具体情况进一步探讨和研究。

第三节 海洋测量定位的坐标系统

海洋测量定位基本采用两种坐标系统，即与陆地测量一致的大地坐标系（一般为参心大地坐标系）和与卫星定位系统相一致的地球大地坐标系。本节只介绍建立这两种坐标系的概念，至于不同坐标系之间的换算将在本书附录中介绍。

一、地球椭球

假设海洋面处于静止平衡状态时（无波浪、潮汐、水流和大气压力变化等引起的扰动），将它延伸到大陆内部的水准面来表示地球的形状，这个面称为大地水准面。大地水准面是一个等位面，在大地水准面上的重力位处处相等，并与其上的重力方向处处正交。由于地球表面起伏不平地球内部物质分布不均匀，大地水准面的几何形状和重力场都是不规则的。由大地水准面所包围的整个形体称为大地体。大地测量学中研究地球形状就是研究大地水准面或大地体的形状。

大地体从宏观上看接近于一个规则形体，它是具有微小扁率的旋转椭球，旋转椭球面是一个规则的数学曲面，一般用两个参数即可确定，即长半径 a 和扁率 α 。选定一个地球椭球后，只确定其形状和大小，还无法把地球面上大地网归算到它上面，因此还要解决椭球的定位与定向问题。一个形状、大小、定向和定位都已确定的地球椭球称为参考椭球。参考椭球面是处理几何大地测量结果的基准面。参考椭球一经确定，则大地坐标系即已

建立。

参考椭球如图 1.1 所示。 $NWSE$ 为一子午椭圆，它绕地轴 NS 旋转一周形成一个旋转椭球， N 为地球北极， S 为南极， NPS 为过椭球面上一点 P 的大地子午圈，垂直于旋转轴的平面与椭球面相交的截线称为平行圈，过椭球中心的平行圈为赤道。椭球各元素及相互关系如下：

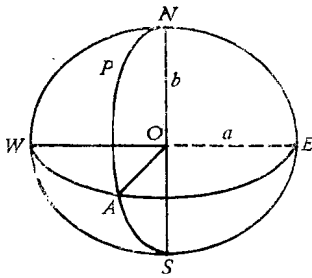


图 1.1 地球椭球

椭球长半径 $a = OA = OE = OW$

椭球短半径 $b = ON = OS$

$$\text{椭球扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-3)$$

子午椭圆的第一偏心率

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad (1-4)$$

子午椭圆的第二偏心率

$$e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \quad (1-5)$$

各元素的关系：

$$\left. \begin{aligned} a &= b\sqrt{1+e'^2}, & b &= a\sqrt{1-e^2} \\ c &= a\sqrt{1+e'^2}, & a &= c\sqrt{1-e^2} \\ e' &= e\sqrt{1+e'^2}, & e &= e'\sqrt{1-e^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

式中

$$c = a^2/b$$

另外还有两个辅助函数

$$\left. \begin{aligned} W &= \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \\ V &= \sqrt{1 + e'^2 \cos^2 \varphi} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中 φ —纬度。

则有

$$V = W\sqrt{1+e'^2}, \quad W = V\sqrt{1-e^2} \quad (1-8)$$

还有

$$\left. \begin{aligned} e^2 &= 2\alpha - \alpha^2 = 2\alpha \\ 1 - e^2 &= (1 - \alpha)^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

二、大地坐标系和空间直角坐标系

1. 大地坐标系

空间一点的大地坐标用大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 h 表示。

如图 1.2 所示,地面上 P 点的大地子午面 NPS 与起始子午面构成的二面角 L ,称大地经度,由起始子午面起算,向东为正,向西为负。 P 点对椭球的法线 PK 与赤道面的夹角 B ,称 P 点的大地纬度,由赤道起算,向北为正,向南为负。

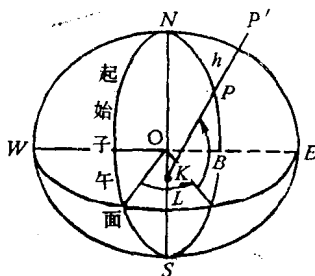


图 1.2 大地坐标系

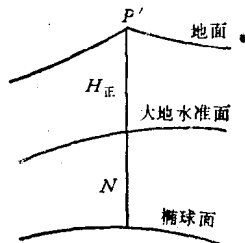


图 1.3 正高与大地高

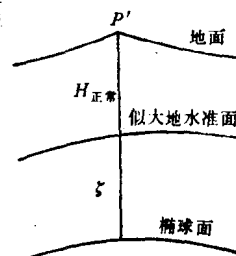


图 1.4 正常高与大地高

如果 P' 点不在椭球面上,则 P' 点位置除用 L 、 B 表示外,还要用大地高 h 表示,如图 1.3 和图 1.4 所示。

在水准测量中,用正高或正常高表示点的高程。则有:

$$H_{\text{大地高}} = H_{\text{正}} + N \quad (1-10)$$

或

$$H_{\text{大地高}} = H_{\text{正常}} + \zeta \quad (1-11)$$

式中 $H_{\text{正}}$ ——点的正高;

$H_{\text{正常}}$ ——点的正常高;

N ——大地水准面差距;

ζ ——似大地水准面的高程异常。

2. 空间直角坐标系

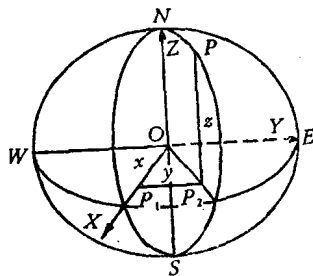


图 1.5 空间直角坐标系

与大地坐标系相对应的有一种空间大地直角坐标系,如图 1.5 所示。以椭球中心 O 为坐标原点, OZ 轴与椭球旋转轴重合, OX 轴位于起始子午面和赤道面的交线上,在赤道面上与 X 轴正交方向为 Y 轴, $O-XYZ$ 构成右手坐标系。此时 P 点坐标以 x 、 y 、 z 表示。即 $x = OP_1$ 、 $y = P_1P_2$ 、 $z = P_2P$ 。

大地坐标系或空间直角坐标系,根据地球椭球中心的位置,又可分为参心坐标系(椭球中心不在地心)和地心坐标系(椭球中心处于地心上)。

三、参心坐标系

选择一定元素的地球椭球通过定向与定位，从而确定了参考椭球面，确定了大地原点的起算数据，这就完成了某一参心坐标系的建立。参考椭球的定位和定向，这里不加以讨论，只列出它应满足的条件：

- a. 椭球短轴与地球某一历元的地轴相平行（相应椭球的赤道面与大地体的赤道面相平行）；
- b. 起始大地子午面与起始天文子午面平行；
- c. 椭球面与某一区域的大地水准面最为密合。

参考椭球的定向与定位，一般是依据大地原点的天文观测和高程测量结果，通过确定欧拉角 ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 和垂线偏差 η_i 、 ξ_i 以及大地水准面差距 N_i 实现的。椭球定向与定位后，即得到大地原点上的 B_i 、 L_i 和 h_i ，和至某一点的大地方向角 A_i 。 B_i 、 L_i 、 h_i 、 A_i 称为大地起算数据或大地基准数据，大地原点也称为大地起算点或大地基准点。

在建立参心坐标系过程中，由于只是在某一国家或地区满足 $\sum N = \text{最小}$ ，故参考椭球中心一般不与地心重合。参心坐标系是完全能够满足经典大地测量和测图要求的，至今世界上大多数国家仍采用各自的参心坐标系作为测图和控制的基础。很明显，不同椭球元素构成不同的参心坐标系；相同的地球椭球元素，但定位和定向不同，也构成不同参心坐标系，我国目前采用的参心坐标系有：

1. 1954 年北京坐标系

1954 年北京坐标系和苏联 1942 年坐标系有一定联系。后者采用克拉索夫斯基椭球元素，以普尔科沃为大地原点，组成弧度测量方程，进行多点定位，从而建立了 1942 年普尔科沃坐标系。我国 1954 年北京坐标系和苏联 1942 年坐标系的关系，除采用克拉索夫斯基椭球元素（ $a = 6378245\text{m}$ ， $\alpha = 1:298.3$ ）外，与苏联 1942 年坐标系进行了联测，高程异常是以苏联 1955 年大地水准面重新平差结果为起算值，按我国天文水准路线推算出来的；大地点的高程是以 1956 年青岛验潮站求出的黄海平均海面为基准。因此 1954 年北京坐标系与苏联 1942 年坐标系有联系，但又不完全是苏联 1942 年坐标系。我国按 1954 年北京坐标系完成了大量的测绘工作，为国家经济建设和国防建设作出了贡献，但它也存在一些明显的不足之处：

（1）椭球元素，长半径和国际 1983 年第 5 个推荐值相比约大 109m，而且克拉索夫斯基椭球只涉及几何性质的两个参数（ a 、 α ），满足不了现代大地测量理论的研究和实际工作中需要 4 个基本参数（ a 、 GM 、 J_2 、 ω ）的要求。

（2）大地测量采用克拉索夫斯基椭球，而在处理重力数据时采用的是赫尔默特扁球，它与克拉索夫斯基椭球是不一致的。

（3）1954 年北京坐标系所对应的定位后的参考椭球面，与我国大地水准面自西向东有明显的系统性倾斜。在东部地区最大可达几十米，说明参考椭球面不与我国大地水准面密合，即不满足 $\sum N = \text{最小的条件}$ 。

(4) 1954年北京坐标系,在定向上,地轴指向既不是国际习用原点(CIO),也不是我国目前采用的1968.OJYD(1968年国际时间局决定,采用通过CID和原格林尼治天文台的经线为起始子午线,起始子午线与相应于CIO的赤道交点E为经度零点),起始天文子午面也不是格林尼治平均天文台子午面。

(5) 名不符实,有人认为1954年北京坐标系原点在北京,而实际上它的原点在苏联的普尔科沃,引起一些混乱。应该认为1954年北京坐标系和苏联1942年坐标系既有一定联系,又有一定的差异。

2. 1980年国家大地坐标系

我国已建立了1980年国家大地坐标系,其大地原点设在陕西省泾阳县永乐镇;地球椭球短轴平行于地球地心指向1968.0地极原点(JYD)的方向;起始大地子午面平行于格林尼治平均天文台子午面;在我国境内,椭球面和大地水准面最为密切,也属参心坐标系。该坐标系采用了1975年国际椭球基本参数。

四、地心坐标系

地心坐标系,可分为地心空间大地直角坐标系和地心大地坐标系。通常所说的地心坐标系往往是指前者而言。地心空间直角坐标系的原点位于地球的质心,其坐标轴的指向一般为指向国际协议(习惯)原点CIO, X轴位于格林尼治平均天文台子午面上,且与OZ轴正交, Y轴垂直于X和Z轴,构成右手坐标系。当前地心坐标系应用较广,如WGS-72、WGS-84均为地心坐标系。

第二章 海岸和岛屿控制测量

海洋测量的控制基础为海洋大地测量。海洋大地测量有关理论与方法可参考《海洋大地测量学》，这里只简要介绍直接用于测图的海控点测量的方法。海控点是在国家一至四等大地点(三角点或精密导线点)间布设的加密控制点，按其平面点位精度分为海控一、二级点，另外还有供直接测图的最低级点(测图点)。海控点基本精度要求如表 2.1 所示。

海控点的限差

表 2.1

限 差 项 目		海控一	海控二	测图点
测角中误差(")		±5	±10	±10
相对相邻起算点的点位中误差		±0.3	±0.6	—
电磁波测距边长相对中误差		1/50000	1/25000	1/25000
交会点位移	1:5000 比例尺	—	—	0.5
	1:10000 比例尺	—	—	1.0
	1:25000 比例尺	—	—	2.0

加密海控点的具体测量要求详见《海道测量规范》(GB12327-90)。下面着重介绍各种典型图形的设计、精度概略估算及典型图形严密平差方法。

第一节 海控点典型图形设计和精度概算

一、图形设计要求

布设海控点的边长一般在 1~7km 之间，三角形的求距角应不小于 25°，如布设菱形，则顶角不小于 25°。困难地区，求距角可不小于 20°。

待定点插入三角形内时，求距角不作限制，但插点一般应在三角形中心附近。

布设中点多边形、单三角锁及线形锁时，三角形不应多于 8 个，线形锁必须联测两个定向角。

布设交会点时，各交角应不小于 25°，困难地区可放宽至 20°；后方交会法位置线交角应在 30°~150° 之间，且待定点不应与三已知点共圆。

二、精度估算

设计时，所布设的平面控制点当等级确定后，则主要考虑图形强度，应对所设计之图